

Éclairage scientifique

Cet éclairage scientifique complète le module d'activités en explicitant les notions nécessaires à sa mise en œuvre. Il est recommandé de consulter ce document en cas de problème scientifique lors de la préparation d'une séance. Il est possible aussi d'y avoir recours pour répondre à certaines questions d'élèves, si on le juge utile. En effet, cet éclairage va souvent au-delà des notions abordées dans les séquences qui correspondent au programme du cycle 3. Selon la question posée, il est possible d'apporter une réponse simplifiée adaptée à l'âge des élèves, ou encore de considérer qu'il est préférable de remettre cette réponse à plus tard, soit parce qu'elle est trop compliquée, soit parce qu'une réponse simplifiée risque de créer un obstacle pour un apprentissage futur.



1. Le champ magnétique
2. Images de la Terre

1

Le champ magnétique

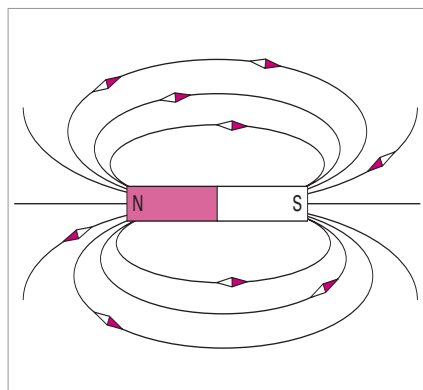
► La notion de champ magnétique

Qu'est-ce qu'un champ magnétique ?

Un champ magnétique est une grandeur physique caractérisée par une direction, un sens et une intensité. Cette dernière est mesurée en tesla (T) ou en gauss (G), sachant que $1\text{T} = 10\,000\text{G}$. Les physiciens le représentent donc à l'aide d'un vecteur.

Un champ magnétique est créé par une source qui agit sur tout l'espace ; les caractéristiques du champ magnétique pouvant varier d'un point à l'autre de cet espace. La source agit à distance, sans avoir forcément de contact avec l'objet avec lequel elle interagit. Le champ magnétique décroît avec la distance à la source (il est fonction inverse du carré de cette distance). Un champ magnétique traverse pratiquement tous les matériaux. Un aimant permanent est un exemple de source : il crée un champ magnétique dans son voisinage.

Dans une portion de l'espace dans laquelle il existe un champ magnétique (y compris le champ magnétique terrestre), on constate une orientation privilégiée de l'aiguille aimantée d'une boussole. La direction de l'aiguille indique la direction du champ magnétique au point considéré. En déplaçant une boussole à proximité d'un aimant, l'aiguille s'alignera dans la direction de ses lignes de champ (lignes tangentes en tout point au champ magnétique). On peut facilement matérialiser ces lignes en saupoudrant de la limaille de fer sur une feuille de papier posée au dessus d'un aimant.



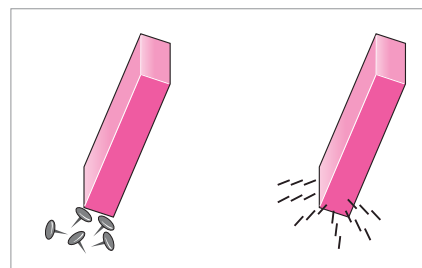
Lignes de champ d'un barreau droit

Sur le spectre, on constate que les lignes de champ sont plus resserrées près des extrémités de l'aimant : cela indique que, dans ces zones, le champ magnétique créé par l'aimant est plus intense. C'est une caractéristique des pôles de l'aimant, qui sont situés à ses deux extrémités.

D'autres dispositifs peuvent créer un champ magnétique : une bobine conductrice parcourue par un courant électrique (un électro-aimant), tout circuit électrique parcouru par un courant... De nombreux objets de la vie courante génèrent aussi un champ magnétique plus ou moins important : les moteurs électriques, les transformateurs, les radios-réveils, les sèche-cheveux, les écrans de télévision ou d'ordinateur, les imprimantes, les fours à micro-ondes, les fers à repasser, les téléphones mobiles...

Le champ magnétique terrestre étant faible en intensité, il est souvent négligeable devant d'autres champs magnétiques. Ainsi, si on approche la boussole d'un aimant, le champ que crée ce dernier est plus intense que celui de la Terre. La contribution du champ magnétique terrestre est alors marginale et la boussole n'indique plus le nord.

Dans la vie quotidienne, de nombreux objets utilisent des phénomènes magnétiques : par exemple, les tickets à piste magnétique comme les tickets de métro, les cartes des distributeurs automatiques de banque, les punaises magnétiques... contiennent tous des matériaux magnétiques. Les aimants sont des matériaux magnétiques qui ont été aimantés et qui conservent cette aimantation de manière durable (on parle d'« aimantation rémanente »). Ils ont alors la propriété d'attirer des objets composés de « substances magnétiques » comme le fer, le cobalt ou le nickel. ▼

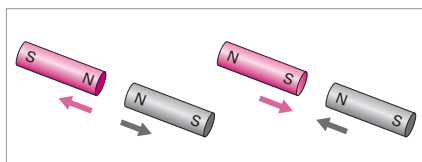


► Les aimants

Un aimant est appelé « dipôle magnétique », car il possède deux pôles (nord et sud) et génère un champ magnétique. Il est en outre sensible à l'influence d'un champ magnétique extérieur.

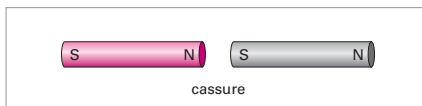
Par convention, on appelle pôle nord d'un aimant le pôle qui s'oriente vers le nord magnétique terrestre si l'aimant est libre de s'orienter.

On différencie les deux pôles d'un aimant par leur propriété d'interaction avec un autre aimant. Par exemple : deux pôles identiques se repoussent alors que deux pôles opposés s'attirent.



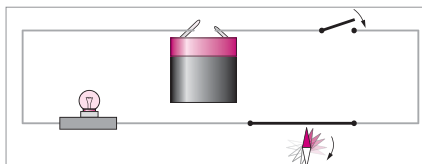
Interactions mutuelles de deux aimants.

Une autre propriété caractéristique des aimants est que l'on ne peut pas séparer le pôle nord et le pôle sud d'un même aimant en le coupant en deux : la coupure recrée un pôle nord et un pôle sud, ce qui fait que l'on se trouve ainsi en présence de deux aimants opposés s'attirent..

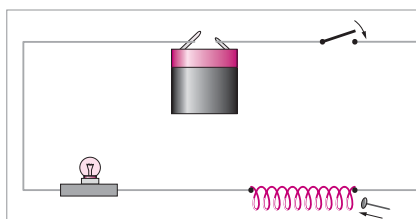


Quel rapport existe-t-il entre un aimant et un courant électrique ?

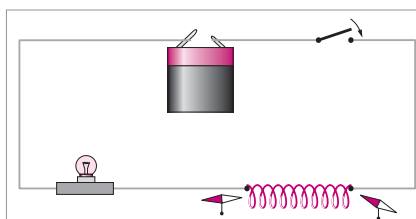
Plaçons une boussole sur une table en bois. Elle indique le nord. Montons ensuite un circuit simple (pile, ampoule et fils) et plaçons un fil rectiligne du circuit au-dessus de la boussole, parallèlement à la direction de l'aiguille. Nous constatons alors que cette dernière pivote lorsque l'on ferme le circuit. Si nous débranchons ensuite la pile, l'aiguille retrouve la direction nord-sud.



Nous pouvons compliquer le circuit et remplacer le fil rectiligne par une bobine. Pour cela, il suffit d'enrouler un fil verni autour d'un crayon, de retirer ce dernier et de brancher les deux extrémités du fil au circuit. Approchons un objet ferreux de petite taille de cette bobine, un clou par exemple : il est attiré par elle. Nous avons donc fabriqué un objet capable d'attirer les matériaux magnétiques, c'est-à-dire un aimant qui fonctionne lorsqu'il est parcouru par un courant électrique ; c'est ce que l'on appelle un « électroaimant ».

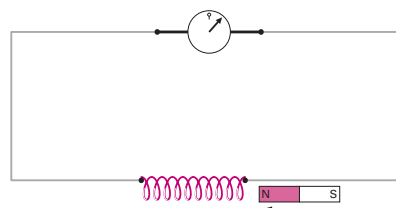


Si nous plaçons la boussole près des extrémités de la bobine, nous constatons que l'un des côtés attire le pôle nord et l'autre le pôle sud : une bobine parcourue par un courant électrique interagit donc également avec un autre aimant (attraction ou répulsion) ; elle se comporte donc comme un aimant, à la différence près qu'elle ne génère plus de champ magnétique lorsqu'on coupe le courant. Ce magnétisme résulte donc du courant électrique qui traverse la bobine. Le magnétisme d'origine électrique s'appelle « électromagnétisme ».



L'utilisation de phénomènes électromagnétiques permet également de produire un courant électrique, par exemple avec un aimant. Pour en faire la preuve, modifions le montage précédent en ôtant la pile et en le remplaçant par un multimètre, c'est-à-dire un appareil qui sert, entre autres, à mesurer l'intensité d'un courant électrique. Le circuit ne possède alors plus aucun générateur d'électricité. Et pourtant, lorsque nous entrons et sortons l'aimant de la bobine, l'aiguille du

multimètre oscille. Nous avons ainsi créé un courant électrique dans le circuit en faisant varier le champ magnétique à travers la bobine. On appelle ce phénomène « induction électromagnétique ».



► L'aimantation

Vous avez remarqué que les aimants attirent également certains métaux, notamment le fer, le nickel ou le cobalt et certains de leurs alliages (en particulier l'acier). Mais on peut s'interroger sur l'origine de cette attraction...

Sous l'effet du champ magnétique créé par l'aimant, le fer, par exemple, acquiert lui-aussi une aimantation. Cet effet porte le nom de « ferromagnétisme ». Pour le comprendre, on doit plonger au cœur de la matière et de sa structure atomique. Les « groupes » d'atomes constituant le métal se comportent comme autant de petits aimants. Sans champ extérieur, ils prennent une orientation aléatoire et donc distribuée également dans toutes les directions. Au total, la somme de leurs contributions est globalement nulle et ne produit donc aucun champ magnétique. En revanche, sous l'effet d'un aimant permanent, ces « petits aimants » s'orientent tous selon une direction privilégiée, celles des lignes de champ de l'aimant, et leurs contributions s'ajoutent au lieu de se compenser. Le métal se comporte alors comme un aimant. Il apparaît ce que l'on appelle une « aimantation induite temporaire », qui explique l'interaction avec l'aimant permanent.

Un exemple : prenons deux trombones en métal et un aimant. Suspendons le premier trombone verticalement à l'aimant : on peut alors lui accoler le deuxième trombone ! L'aimant transforme provisoirement le premier trombone en un aimant qui, à son tour, est capable de transformer le second trombone en aimant et de l'attirer ainsi vers lui.

Les aimants sont donc capables d'attirer autre chose que des aimants permanents, à

savoir tous les matériaux dits « magnétiques », c'est-à-dire qui se transforment en aimants en présence d'un champ magnétique. Certains matériaux conservent temporairement une aimantation, certains des « groupes » d'atomes conservant quelques temps la direction de l'aimant au lieu de revenir à leur position d'origine (quelconque) ; on parle alors d'« aimantation rémanente ». Selon le matériau et la force du champ auquel il a été soumis, cette aimantation rémanente est plus ou moins importante et durera plus ou moins longtemps. L'acier, par exemple (alliage fer-carbone contenant entre 1 et 5 % de carbone), conserve une aimantation rémanente importante. C'est le cas de l'aiguille que l'on frotte avec un aimant dans la séance 4 : les élèves fabriquent une boussole en aimantant une simple aiguille en acier. C'est pour cette raison qu'on utilise l'acier pour fabriquer des aimants permanents. Le fer doux au contraire (alliage fer-carbone contenant moins de 1 % de carbone) perd son aimantation dès que le champ magnétique cesse : c'est pourquoi on utilise des noyaux de fer doux pour fabriquer des électro-aimants, ces derniers devant se démagnétiser dès l'interruption du courant électrique (rappelons que les électro-aimants sont des bobines de fil générant un champ magnétique, comme le ferait un aimant, lorsqu'un courant les traverse). Au milieu des électro-aimants, le noyau de fer doux se transforme en aimant lors du passage du courant ; les deux effets se renforcent alors, et l'aimant obtenu est très puissant.

► Le champ magnétique terrestre

Le champ magnétique à l'échelle de la Terre

Le champ magnétique terrestre est assimilable à celui que pourrait générer un gigantesque aimant droit qui serait situé à l'intérieur de la

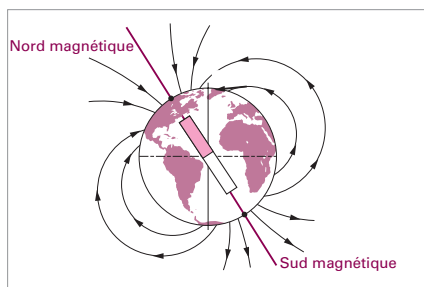
Terre en passant par ses pôles magnétiques et son centre. Cet « aimant terre » a la propriété d'interagir avec des objets magnétiques à grande distance, c'est pourquoi l'aiguille d'une boussole s'oriente selon les lignes de champ de l'aimant Terre. Le côté nord de l'aiguille de la

boussole (en rouge généralement) indique le nord magnétique et, à quelques degrés près, le nord géographique.

L'origine de ce magnétisme n'est pas parfaitement connue, mais l'hypothèse retenue aujourd'hui, qui fait appel aux lois de l'électromagnétisme, est la suivante : il est admis que le centre du globe est occupé par un noyau métallique de 3 500 km de rayon, essentiellement constitué de fer et de nickel, à une température de 5 800 °C et à une pression de plusieurs millions d'atmosphères. Ce noyau comporte une partie interne solide et une partie externe fluide. C'est la différence de pression et de température entre le noyau interne et le noyau externe qui explique les différents états de ces métaux. Dans la partie externe du noyau, les fluides métalliques électriquement chargés suivent un mouvement de convection assimilable à un courant électrique qui engendrerait le champ magnétique terrestre.

Par ailleurs, on sait que les minerais magnétiques sont à l'origine de variations locales (appelées « anomalies magnétiques »), mais n'influent pas sur la valeur moyenne du champ magnétique terrestre. La gravitation, quant à elle, n'intervient pas du tout.

Notons cependant une difficulté langagière qui peut être source de confusion : actuellement, ce que l'on appelle le pôle magnétique nord est à proximité du pôle Nord géographique. Soumise au champ magnétique terrestre, l'aiguille d'une boussole s'oriente parallèlement à la ligne de champ magnétique locale et indique donc la direction magnétique sud-nord. C'est le pôle nord de l'aiguille aimantée qui est dirigée vers le pôle nord magnétique. Or on sait que des pôles qui s'attirent sont des pôles opposés : le pôle nord magnétique se situe en fait du côté du pôle sud de l'aimant Terre équivalent.



Les « deux nord » et la déclinaison magnétique

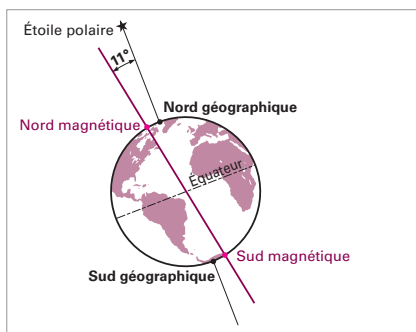
Il existe deux nord : le nord magnétique et le nord géographique.

Le nord le plus connu est le **nord géographique** : le pôle Nord. Il est situé en Arctique, à l'opposé (aux antipodes) du pôle Sud géographique qui, lui, est situé en Antarctique. Ces deux pôles sont les points de la surface terrestre par lesquels passe l'axe de rotation de la Terre, c'est-à-dire la ligne imaginaire autour de laquelle la Terre tourne sur elle-même en vingt-quatre heures. Cette ligne imaginaire passe également à proximité de l'étoile polaire. Nous verrons plus loin l'intérêt de cette remarque.

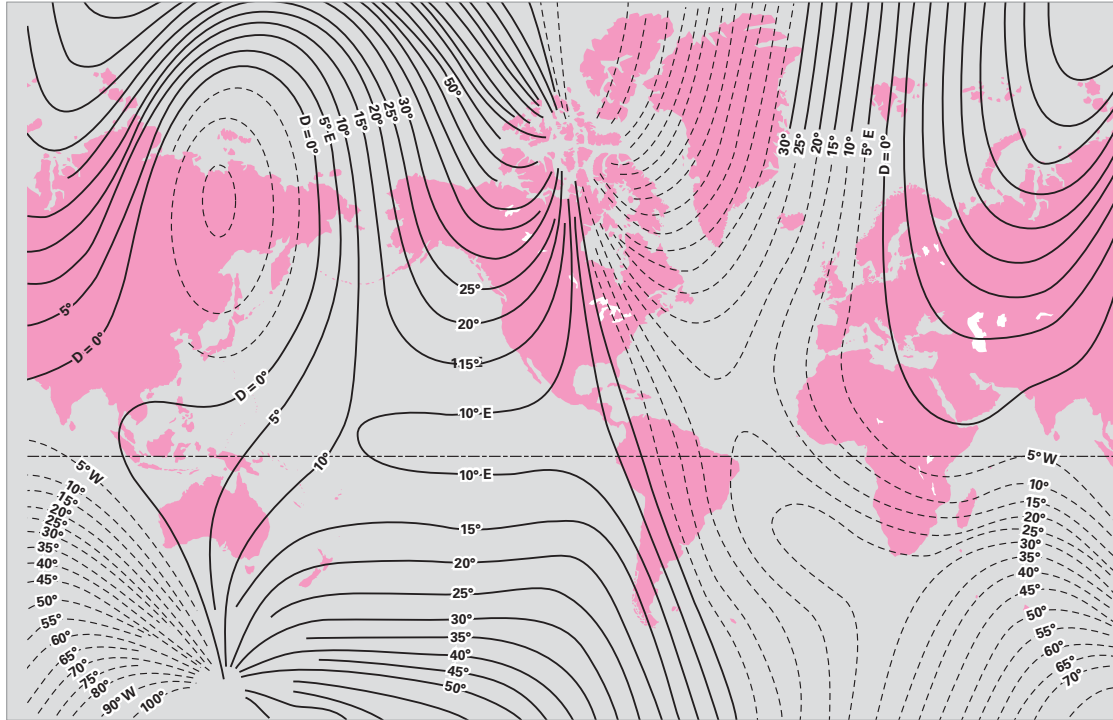
Le « second » nord est le **nord magnétique**. Situé à peu près à l'opposé du sud magnétique (mais pas tout à fait), c'est le point auquel on parviendrait si l'on suivait l'indication d'une boussole.

Ces deux nord sont actuellement éloignés de 1 250 km. Cette distance peut aussi s'exprimer par la mesure de l'angle que forment leurs deux directions par rapport au centre de la Terre, qui est de 11°. Cette distance angulaire est appelée **déclinaison magnétique** ; elle varie au cours du temps selon deux rythmes possibles :

- lentement : voir par exemple les cartes de l'Institut géographique national qui indiquent la valeur de la déclinaison à la date de confection de la carte.
- brutalement : le champ magnétique a changé de sens dans le passé à plusieurs reprises, ainsi qu'en atteste l'étude du paléomagnétisme, menée grâce aux laves volcaniques qui, en se refroidissant, ont conservé l'indication de la direction du champ magnétique au moment de l'éruption.



► Le champ magnétique terrestre local



Carte mondiale de la déclinaison magnétique en 1965.
D'après la carte du SHOM n° 0101G. Planisphère terrestre - déclinaison magnétique.

La valeur du champ magnétique terrestre à Paris est de l'ordre de 0,045 mT (millitesla), ce qui constitue une valeur assez faible. En comparaison, un sèche-cheveux émet un champ de 0,2 mT, et le champ d'un aimant de très bonne qualité peut valoir jusqu'à 1 000 mT (les aimants les plus courants produisent des champs de l'ordre de 10 mT).

Pour déterminer le **nord magnétique** par rapport à un point précis, il faut prendre la direction de la pointe colorée de l'aiguille de la boussole, c'est-à-dire la direction du champ magnétique terrestre du lieu en question au moment considéré.

Pour déterminer le **nord géographique** par rapport à un point précis, il faut prendre la direction du méridien du lieu, par exemple en repérant l'ombre d'un bâton vertical à midi solaire, lorsque le Soleil culmine dans le ciel.

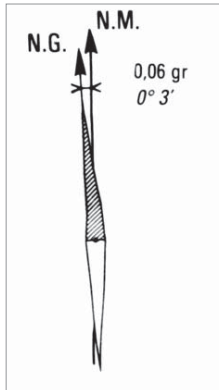
Rappelons que le méridien est un cercle imaginaire passant par les deux pôles géographiques.

La déclinaison magnétique varie en fonction de notre position sur le globe terrestre : elle sera plus importante si l'on se trouve près du pôle Nord que si l'on se place vers l'équateur.

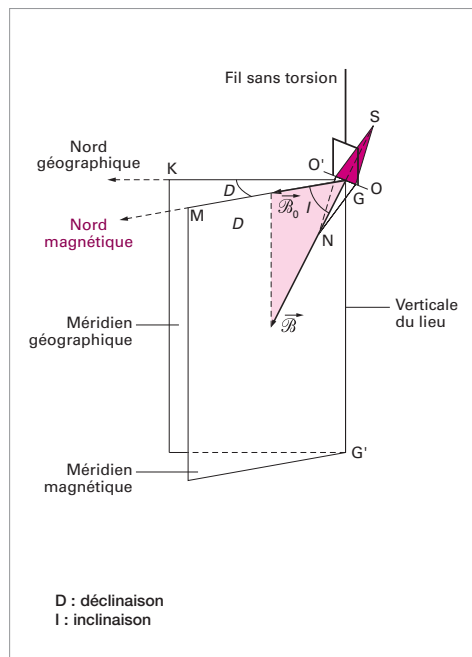
On peut tracer des lignes reliant tous les points d'égale déclinaison, appelées « lignes isogones » (voir la carte ci-dessus). En France, ces lignes sont orientées nord-sud, avec des variations moyennes de 0,67 centigrades par kilomètre dans le sens est-ouest.

Le nord en un point

Le nord géographique et le nord magnétique sont indiqués sur les cartes IGN, au 25 000^e, par exemple, le nord géographique étant dirigé par convention vers le haut de la carte, parallèlement aux bords. Certaines cartes peuvent être orientées différemment ; dans ce cas, une flèche y indique généralement le nord, ce qui permet de se repérer. Sur une carte, la déclinaison est indiquée, pour un endroit donné, à la date de fabrication de la carte. Une formule permet de calculer sa variation au cours du temps, mais, ces variations étant très faibles sur une période de quelques années, il n'est pas nécessaire d'en tenir compte lors de randonnées.



L'inclinaison



Les géomètres donnent à la boussole le nom de « déclinaison ». La plupart des boussoles du commerce se présentent sous forme d'une boîte cylindrique plate dans laquelle une aiguille aimantée peut tourner autour d'un pivot. L'aiguille ne peut pas s'orienter dans n'importe quelle direction dans l'espace : si la boussole est placée sur un support horizontal, elle ne peut tourner que dans ce plan horizontal. Et donc, à défaut de donner la direction du champ, elle donne la direction de sa composante horizontale.

Si on utilise une aiguille susceptible de prendre n'importe quelle direction dans l'espace, on constate qu'elle est en fait très inclinée par rapport au plan horizontal dans les régions polaires, et très peu inclinée par rapport à ce plan dans les régions proches de l'équateur. L'angle que fait une telle aiguille avec le plan horizontal local s'appelle « inclinaison ». Pour faire de la navigation, il n'est pas utile de le connaître, il suffit de prendre en compte la déclinaison pour corriger l'indication de la boussole... et ne pas perdre le nord !

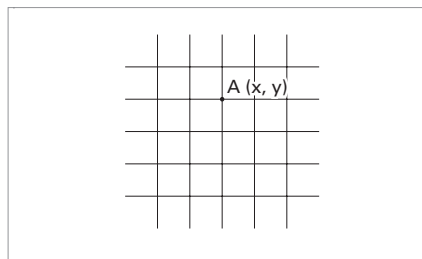
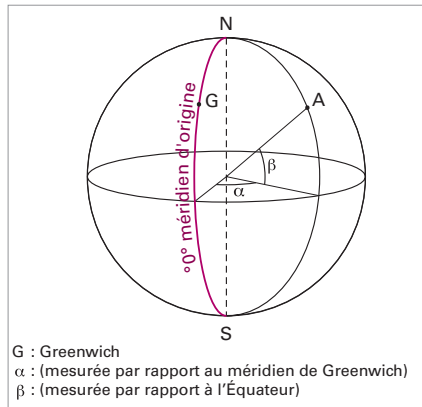
2

Images de la Terre

► La cartographie

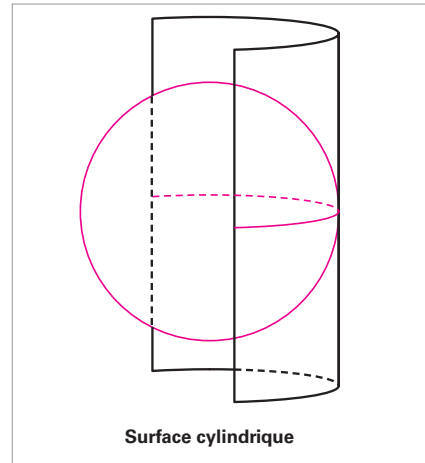
Étant donné sa forme la représentation de la Terre sur une carte, demande de passer d'une surface courbe à une surface plane : c'est l'objet essentiel de la cartographie.

Pour réaliser une carte plane, il faut faire correspondre aux coordonnées géographiques angulaires (longitude (α) et latitude (β)) de chaque point de la Terre des coordonnées cartésiennes (x et y). Cela suppose de réaliser des projections qui présentent des imperfections dans la mesure où seules certaines propriétés géométriques sont conservées.



Nous évoquons ci-dessous de façon simplifiée deux systèmes de projection parmi les plus courants :

– La projection de Mercator directe, équatoriale : cette projection se fait sur un cylindre tangent à l'équateur, qui transforme les méridiens en droites parallèles écartées proportionnellement à leur différence de longitude. Son inconvénient principal est la déformation qui va croissant lorsqu'on s'éloigne de l'équateur.



Surface cylindrique

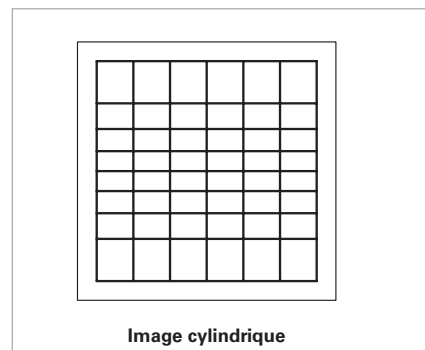
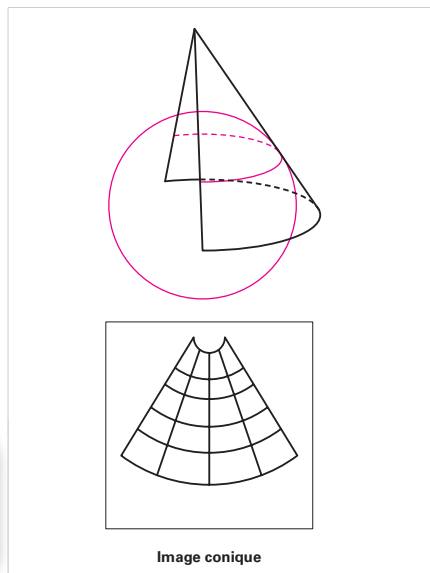


Image cylindrique

– La projection de Lambert : cette projection se fait sur un cône tangent à la sphère terrestre, sur un parallèle appelé parallèle d'origine ; les méridiens sont alors des droites concourantes et les parallèles des arcs de cercle. Pour ne pas trop altérer les longueurs, on utilise, pour la carte de France, quatre projections coniques conformes de Lambert du nord au sud (par exemple, la zone nord a comme parallèle d'origine 55 grades et la zone centre a comme parallèle d'origine 52 grades).

Liens Internet

<http://www.ign.fr> : site de l'Institut géographique national, très utile pour consulter des cartes ainsi que de nombreux documents sur l'histoire, la fabrication et l'utilisation de ces dernières.



► Les images satellites

Le premier satellite artificiel de la Terre, Spoutnik 1, a été lancé le 4 octobre 1957. Depuis ce jour, près de quatre mille satellites ont été mis sur orbite et, actuellement, quelques six cents sont actifs. Certains sont géostationnaires : ils tournent en se maintenant au-dessus du même lieu à environ 36 000 km de la Terre. D'autres sont en orbite polaire : ils évoluent à une distance de 250 à 800 km et effectuent environ quinze rotations autour de la Terre en une journée. Ces satellites observent notre planète et fournissent aux scientifiques des informations précieuses : certains nous renseignent sur l'atmosphère, comme par exemple le satellite Météosat, spécialisé dans les prévisions météorologiques, d'autres sur les activités humaines (développement des villes, évolution de la végétation – cultures et forêts –, déplacement des populations animales, etc.).

Les satellites peuvent aussi fournir des informations d'ordre stratégique aux militaires. En effet, selon le dispositif embarqué, un satellite peut fournir des images permettant d'identifier des objets dont la taille est de l'ordre de quelques mètres. Les informations sont recueillies soit à partir d'une mesure de l'énergie lumineuse renvoyée par les objets, soit en envoyant des ondes radar. Elles sont transmises et transformées en images analogues

à des photographies, ce qui permet de les exploiter plus aisément.

Les satellites de télécommunication, quant à eux, reçoivent et transmettent des signaux d'un endroit à un autre de la Terre (radio, télévision, téléphone). Ils permettent en particulier de localiser un objet émettant un signal (balise Argos) ou encore permettent aux personnes équipées d'un récepteur GPS (*Global Positioning System*) (et bientôt d'un récepteur Galileo) de connaître précisément leur position sur Terre.

Ces techniques d'imagerie haute résolution ont permis d'effectuer les premiers relevés géodésiques de la Terre, c'est-à-dire les relevés permettant de déterminer avec précision sa forme et ses dimensions. Les premières images de notre planète vue de l'espace ont été obtenues en 1966 par le satellite Pageos, elles ont été affinées dans les années 1970 avec les satellites Landsat. À partir de 1978, la France a contribué à cette aventure en lançant le programme SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre), dont les satellites permettent de distinguer des détails de 10 m de longueur. Il reste cependant des parties de la surface de la Terre, comme l'Antarctique, qui n'ont pas encore fait l'objet d'un relevé précis.